

## インターネット天文台・学校天文台を活用した授業実践

著者	松本 直記
著者（英）	MATSUMOTO Naoki
雑誌名	宇宙教育研究
号	1
ページ	23-29
発行年	2020-07-07
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1419/00001303/">http://id.nii.ac.jp/1419/00001303/</a>

# インターネット天文台・学校天文台を活用した授業実践

松本 直記

慶應義塾高等学校

Class practice using Internet Observatory and School Observatory

Naoki MATSUMOTO

## Abstract

It is difficult to develop lessons using experiential or real-time astronomical objects in astronomy. However, the use of Internet observatories and the constellation camera i-Can makes it relatively easy to teach with celestial objects. In addition, we believe that student research activities using Internet observatories and school observatories will stimulate students' interest and increase their sense of achievement through hands-on observational and research experiences.

Key Words: インターネット天文台, 星座カメラ, 学校天文台, 生徒研究

## 1 慶應高校の地学教育

高等学校における科目「地学基礎」「地学」の扱う範囲は、地球の真ん中から宇宙の果てまでに及ぶ。しかし、実は教科書、特に地学基礎に関してはあまり系統立っておらず、「なぜそのように言えるのか」という視点を大切にしつつ、授業展開をすると教科書に載っていない部分のやることはなかなか膨大となる。また、生徒の自然に対する直接体験は少ない。そのため、可能な限り体験を提供しつつ、その意味を理解できるよう座学とのバランスを心がけながら展開している。

本校理科の基本ポリシーは、「生徒が自ら体験することで、興味を喚起する。」「物化生地、必修して様々な視点を養う」というものである。慶應義塾の創始者である福澤諭吉は、「まず実学（サイエンス）を学ぶべし。数学・究理学・化学で基礎を学び、しかるのち歴史学・経済学・倫理学等の応用を学ぶ」と述べたと言われており、論理的思考の訓練として科学を重視していた。現在のポリシーはこの考えを反映したものである。

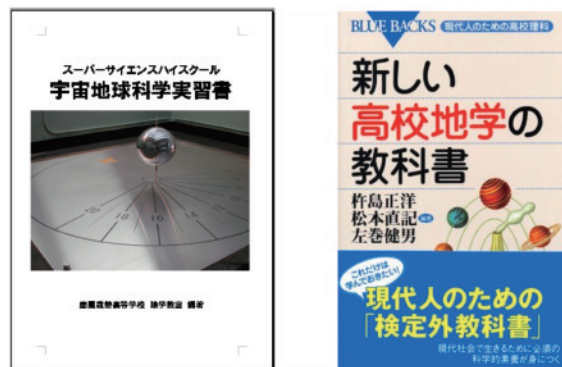


図1 実習書（左）と副読本（右）

## 2 必修ベースの地学教育

必修ベースの授業については、実習帳を作成し体験的な授業を効率よく行えるようにした。教科書ではあまり触れられてない「なぜ」を補うため、副読本の執筆しこれを無料貸与し、「読めばわかる」を提供している。座学においては、板書とプロジェクトによる映像（動画・静止画・デジタルコンテンツ）を併用する。地学は扱う時間・空間の規模が大きく実感しづらいため、映像を用いてイメージしやすくする工夫をしている。また、手元



図2 慶應高校屋上に設置されたインターネット天文台初号機

の教科書すら、実体提示装置でとにかく写し、今扱っていることの共有も心がけている。

### 3 インターネット天文台の利用

実体験を伴った天文分野の授業は難しい。天体観測は主に太陽の沈んだ夜間に行われるからである。しかし、昼に授業が行われているとき、地球の裏側では夜である。そこで、インターネットで遠隔操作が可能なインターネット天文台を開発し、夜の望遠鏡がとらえたリアルタイム天体映像を昼の教室に導入することを考えた。

佐藤（JAXA 宇宙科学研究所）、坪田（桜美林大学）、松本により 1998 年から開発が開始され慶應高校屋上に初号機が設置された。開発について天文学会において構築についての報告（1999 年春年会）、教育実践についての報告（1999 年秋年会）を行った。海外からの利用も増え、1999 年には、フランス・ドイツ、2000 年にはアメリカ・ドイツの科学イベント、ワークショップに協力した。しかし、日本に設置されたインターネット天文台は日本の昼間の授業では活用できない。2003 年にアフリカ西海岸の国、ガーナのテマ市に海外初となるインターネット天文台 4 号機が設置された。

インターネット天文台で撮影された臨場感あふれる映像はアーカイブとして保存され、天文分野の導入などに利用された。

#### 3.1 インターネット天文台の教育利用

本校では、それぞれの時代のカリキュラムで 3 年文系対象「選択地学」、3 年対象の「スーパーサイエンス（天文）」などの選択科目が設置されていた。また 3 年時に「卒業研究」が総合的な学習の時間として設置され、筆者はこれらの科目で、観測天文学と中心とした内容で講義を担当していた。講義の前半で天文学の基礎知識に関する座学を行い、



図3 ガーナインターネット天文台から観測された土星（左）と月面（右）の様子

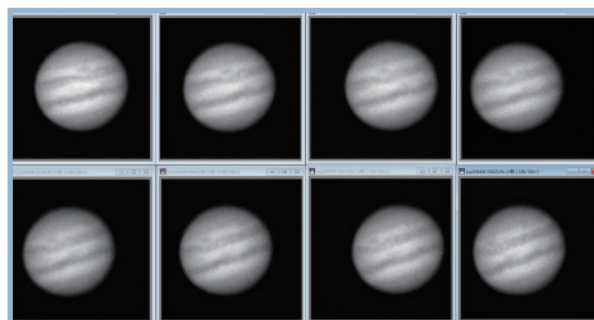


図4 ガーナインターネット望遠鏡で得られた木星の画像（10 分間隔 8 枚）

**木星の偏平率と自転周期を求める**

年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

予備知識  
木星 太陽系最大の惑星。赤道半径 71,800km、地球の約 11 倍の大きさを持つ。  
大赤道 木星表面にある巨大な渦。地球が数個すっぽり入ってしまうほどの大きさ。  
偏平率 木星は高速で自転しているため南北方向がつぶれた形をしている。  
赤道半径:  $a$  極半径:  $b$  とすると、  
偏平率  $f = \frac{a-b}{a}$  と表される。

① 木星の画像を画像解析ソフトで開き、木星の表面について気のついたことをまとめよ。

② 木星の赤道半径と極半径のピクセル数を求める。そして、木星の偏平率を計算せよ。

赤道半径	ピクセル	極半径	ピクセル	偏平率

③ 木星の自転周期を大赤道の動きから求める。木星の中心を (0,0) とした座標を考え、大赤道の経度、緯度を  $(\theta, \phi)$  で表すものとする。  
木星画像の赤道を設定し、その半径のピクセル数  $R$  を求める。  
次に大赤道の中心を通る緯度線  $A-A'$  を引き、その半径  $R'$  のピクセル数を求める。大赤道の中心位置の座標を木星の中心から測定する。経度方向のピクセル数を  $X$ 、緯度方向のピクセル数を  $Y$  とする。用いる写真は上下左右が反転しているため、 $X$  は中心より左を正とし、右を負とする。 $Y$  も同様に下を正とし、上を負とする。大赤道の経度、緯度  $(\theta, \phi)$  は  $X, Y, R, R'$  を用いると、  
 $\sin \theta = \frac{X}{R}$        $\sin \phi = \frac{Y}{R'}$  と表すことができる。 $\sin \theta$  の値から  $\theta$  を導くには電卓で、 $X \div R = \sin \theta$        $\sin^{-1}$        $=$  とする。  
この測定を画像①から画像③まで行う。

図5 木星の偏平率と自転周期を求める演習のワークシート（一部）

演習やレポートを通じて科学解析、論文化の手法を学ぶ。その上で、後半では生徒がテーマを設定し、観測、解析をして結論を得て、それを論文化する。

インターネット天文台の利用は、必修ベースの

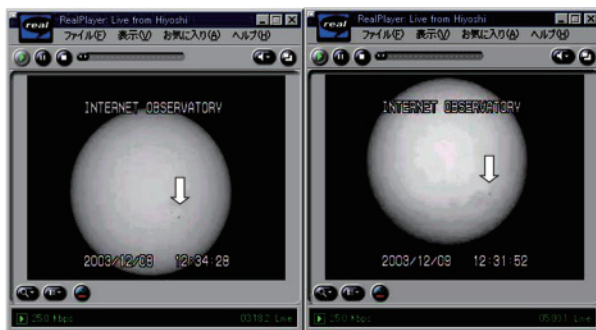


図6 観測された太陽。矢印の位置が黒点

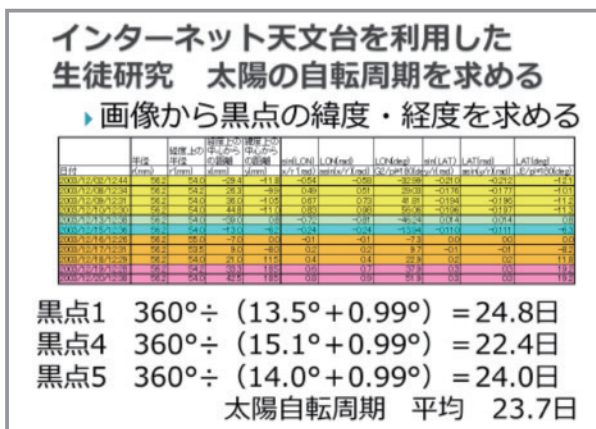


図7 解析の様子

授業では、主に演示としてされたが、少人数での選択科目では、様々な活用が考えられる。例えば、インターネット天文台で撮影された木星の画像から木星の偏平率を求め、また大赤斑の動きから木星の自転周期を求める演習を作成し実施した。

なお、このような観測画像から画像上の大きさや、位置、明るさなどを測定するには国立天文台演習やレポートを通じて科学解析、論文文化の手法を学ぶ。その上で、後半では生徒がテーマを設定し、観測、解析をして結論を得て、それを論文化する。

インターネット天文台の利用は、必修ベースの授業では、主に演示としてされたが、少人数での選択科目では、様々な活用が考えられる。例えば、インターネット天文台で撮影された木星の画像から木星の偏平率を求め、また大赤斑の動きから木星の自転周期を求める演習を作成し実施した。

なお、このような観測画像から画像上の大きさや、位置、明るさなどを測定するには国立天文台が開発した画像処理ソフト Makali'i (マカリ) が広く使われている。天文学で主に扱われる fits 形式の画像が扱えるほか、CCD カメラで撮影した画像の画像処理も行うことができる。このソフト

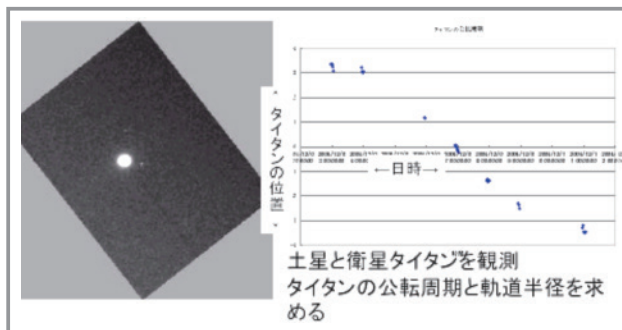


図8 土星とタイタン（左）とタイタンの動き（右）

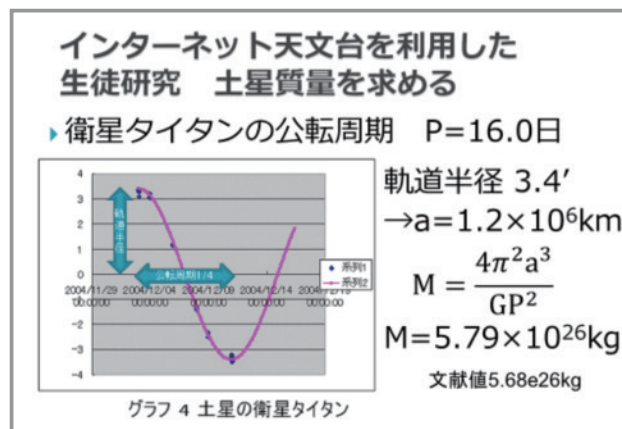


図9 解析の様子

はフリーウェアであり、以下のアドレスからダウンロードすることができる。

<https://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja>



このような経験を重ねて、生徒研究、論文文化を行う。ここで、いくつかのインターネット天文台を用いた生徒研究の例を紹介する。

#### (1) 太陽の自転周期を求める

慶應インターネット天文台で太陽観測を20日間行い、11 データが得られた。太陽黒点の位置変化から、太陽の自転周期を求める。

これらの画像から太陽黒点の太陽面上の緯度・経度を計算し、同位置の黒点と考えられる3セットのデータから、それぞれ1日あたりの回転角を導き、太陽の自転周期を求めた。

#### (2) 土星の質量を求める

惑星の周囲を公転する衛星は、惑星の引力によって引かれ続け一定の軌道を描く。引力は質量によって決定するので、衛星の公転の様子（公転周期と軌道半径）から惑星の質量を求めることができる（ケプラーの第3法則）。生徒の自宅から慶應インターネット天文台を操作し、9日間の観測うち、7晩で画像を取得した。縦軸にタイタンの土





図 10 星座カメラ i-Can 外観  
(米:Apache Point 天文台)



図 11 世界 i-Can ネットワーク

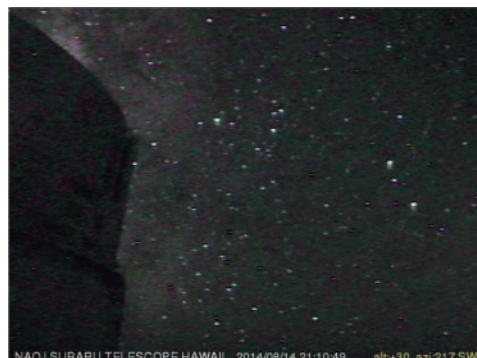


図 12 スクリーンキャプチャした  
i-Can 画像 (米:マウナケア)

星に対する位置、横軸に時刻を置くと公転するタイタンの動きはサインカーブを描く。ここから、公転周期と軌道半径を導く。土星とタイタンの距離は画角で得られるので、観測時の地球と土星の距離を調べ、実際の距離を求めた。結果、土星の質量は文献値に非常に近い値が得られた。

このような研究活動にインターネット天文台を利用した生徒の感想を以下に記す。

- ・インターネット天文台により、家にいながらにして天体望遠鏡を自由に動かせることに驚いた。また、そのような貴重な体験ができてよかった。
- ・慶應高校からの観測と、国境を越えたグローバルな観測を私たちの手で行うことができる。私たちが求めていたものは正にこれだった。

#### 4 星座カメラ i-Can

インターネット天文台を開発し、教育利用を行ってきたが、実のところ望遠鏡を用いた学習は指導要領ではさほど多くない。特に小学校においては拡大系より夜空を見渡すスケールの教材が求められている。佐藤 (JAXA 宇宙科学研究所) が中心となって、インターネット天文台で培ったノウハウを活用し、より広く、より手軽にリアルタイムの天体学習を可能にする星座カメラ i-Can を開発した。

授業で、リアルタイムの星空を利用しようとしても、曇っていて星空が見えないかもしれない。午前の授業では夜だったが、午後には夜が明けてしまうかもしれない。そこで、i-Can を世界の複数

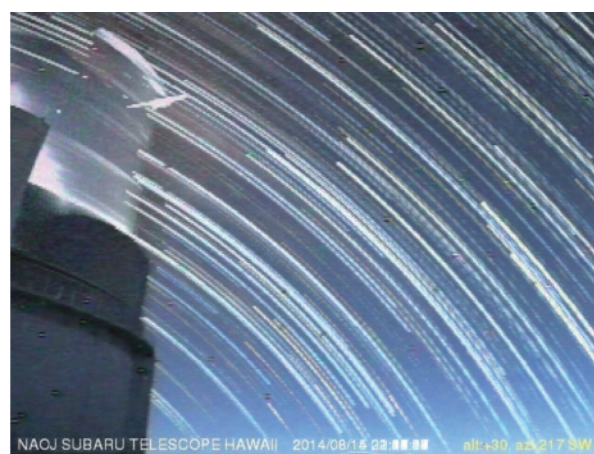


図 13 比較明合成した画像

**慶應高校の観測環境**

- ▶ 本校舎屋上にドーム (アストロ光学製)  
教員室から歩くと400m以上
- ▶ 望遠鏡  
タカハシ FS-15 (F8)
- ▶ 赤道儀 タカハシ  
NJP-TENMA PC-jr.
- ▶ CCD  
SBIG ST9-XE (USB)

図 14 慶應高校の観測環境

地点に設置では夜だったが、午後には夜が明けてしまうかもしれない。そこで、i-Can を世界の複数地点に設置し、高い確率でリアルタイム天体学習が行えるよう、世界 i-Can ネットワークを構築した現在では 5 カ所の i-Can が稼働中である。

i-Can は、以下のサイトから予約することなく誰でも操作することができる。



<http://melos.ted.isas.jaxa.jp/i-CAN/jpn/>

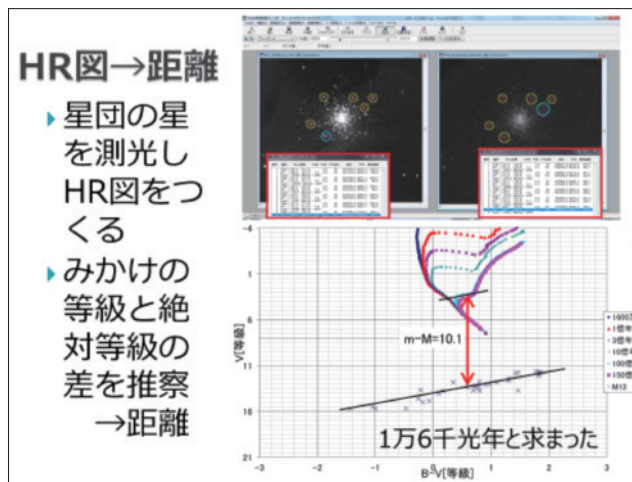


図 15 球状星団の立体分布図

球状星団を青フィルターと緑フィルターで撮影し HR 図を作成。見かけの等級で HR 図を作り、絶対等級で描かれた理論グラフとの差から、絶対等級と見かけの等級の差、すなわち距離指数を求める

i-Can のカメラの感度は良く、設置場所の環境に恵まれていることもあって、かなり暗い星も写る。白板に画面を投影して、星座の形をマーカーで描き、説明しているうちに日周運動で位置の変化も分かる。また、画面をスクリーンキャプチャツールで画像として自動保存をすると、星の動きを示す GIF アニメや、比較明合成処理を行って星の軌跡を浮かび上がらせることもできる。これらは優れた教材となるだろう。

## 5 学校天文台を用いた生徒の研究活動

学校天文台による天体観測は光害の悪化とともに、月や惑星、昼の太陽程度と観測対象は限られていった。しかし、CCD の登場で状況は一変し、市街地でも目では見えないような淡い天体の観測が可能となった。本校では 2003 年に望遠鏡・赤道儀・CCD を再整備し、天文を題材とした生徒の研究活動が行えるようにした。

先に述べた選択科目、卒業研究において、様々な生徒研究を行ってきた。その一部を以下に示す。系外惑星 WASP-33 の観測／脈動変光星の観測／太陽プロミネンスの観測／ $H\alpha$  画像より太陽自転を求める／トランジット法を用いた系外惑星の検出／金星の形状観測から金星軌道を求める／木星の偏平率、軌道半径を求める／HR 図から散開星団の距離を求める／セファイド変光星と地球との距離を測定する／未発見小惑星を発見する／セファイド型変光星の周期と等級から距離を求め

## 立体分布

球状星団が収まる円を描き、銀河系の直径 8.5 万光年 太陽系は中心から 2.7 万光年とした。

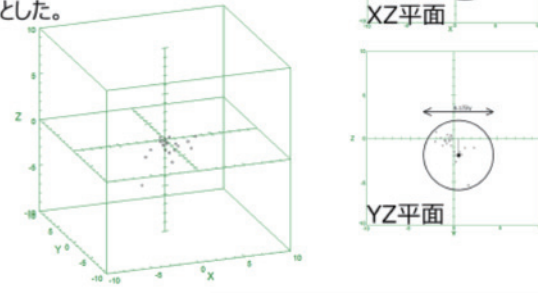


図 16 観測画像と HR 図解析の様子

る／月面クレーターの深さと直径の関係／小惑星イリスのライトカーブより自転周期を求める／太陽黒点の活動周期と自転周期の関係性について／観測・カシオペア座 RZ 星～食変光星の理解へ～／分光観測を利用した変光星の視線速度測定／小惑星 Sylvia の追尾測光観測／ $H\alpha$  フィルタ・分光器を利用した太陽の観測／変光星を用いて球状星団までの距離を求める／金星の太陽通過より 1 天文単位を求める／金星の軌道半径と直径を求める／レーマーの光速測定実践／部分日食観測から月の諸量を求める／食変光星アルゴルの観測と考察／変光星を用いて球状星団と地球の距離を測定する／球状星団、散開星団の年齢を推測する／水星の日面通過より 1 天文単位を求める／火星の軌道半径と公転周期

ここでは、球状星団の観測とデータベースから我々の銀河系についての考察と、本校が継続的に取り組んできた系外惑星のトランジット観測を紹介する。

### (1) 球状星団の観測から我々の銀河系についての考察

我々の銀河系はディスク状の形状をしていると考えられている。それを取り巻くようにハロという球形の領域があり、球状星団が分布している。様々な方向の球状星団を観測し、距離を求めることで、銀河系の規模やその中の太陽系の位置を求めることを試みた。

天候の都合もあり、実際に観測し解析に資することができた球状星団は 3 つに留まったが、SIMBAD データベースも用いて 22 の球状星団について HR 図を作成し距離を求めた。それぞれの



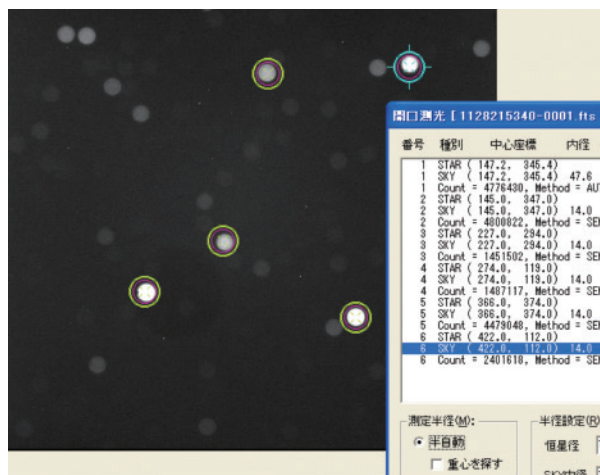


図 17 観測画像の解析の様子

CCD 一素子あたりの光を分散させ長時間露光を可能にするためデフォーカスして撮像する。目的の天体と複数の比較星の明るさをマカリで測光し、目的の天体の光度変化を調べる。非常に地道な作業である

天体の赤経・赤緯から立体分布図を作成し、銀河系の大きさ、太陽系の位置を推察した。

## (2) 系外惑星のトランジット観測

系外惑星が主星の前を横切るときの減光をとらえるトランジット観測を本校では 2004 年から取り組んだ。「日本トランジット観測ネットワーク」に参加し、観測対象、観測方法、解析方法など、メーリングリストで専門家から懇切丁寧にご指導いただいた。本校では、地学研究会、選択科目履修者が年度をまたぎながらノウハウを蓄積していった。

当初は、観測精度が粗く、トランジットを捉えたのか不明瞭な観測が続いた。年々工夫を蓄積していき、2007 年には TrES-3 という天体で、初の確からしい検出に成功した。それでもデータのばらつきは 0.04 等程度だった。翌年には、HD17156 という天体を 0.02 等以下の精度で観測に成功した。この時に得られた変光曲線は日本トランジット観測ネットワークで共有され、Transit Timing Variation (TTV) 法で同じ恒星系の他の惑星を探査するデータとして寄与した。

本校の活動でトランジットの観測を行ったのは 6 年間で 6 チーム 15 人、そのうちの 3 チームがジュニアセッションに参加し観測結果を発表した。そのうちの一人は、大学では経済学部に進学するが、学部を終えたところで理系大学を再受験し大学院まで進み理科の教師となった。ジュニア

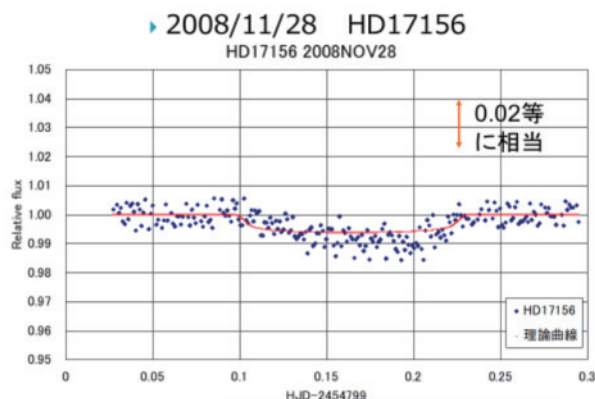


図 18 HD17156 の変光曲線

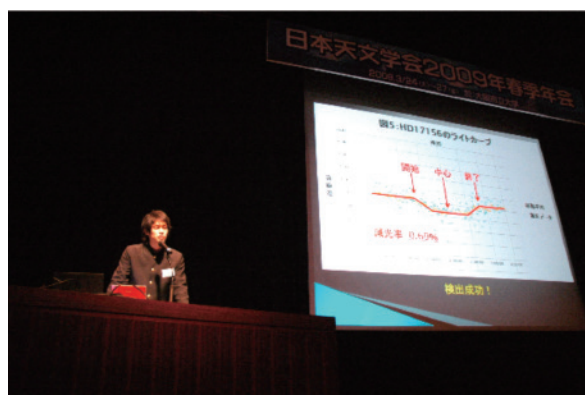


図 19 天文学会ジュニアセッションで発表する生徒

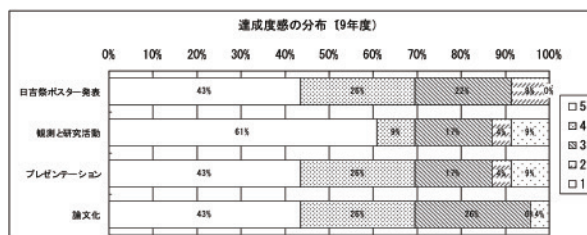


図 20 達成度についてのアンケート調査

セッションへの参加も含め、このような活動が生徒の興味を非常に強く喚起したことを示す例と言えるだろう。

## 6 選択科目における達成度調査

このように、3 年生対象の選択科目において学校天文台やインターネット天文台を用いて、生徒が主体的に観測や解析を行う研究活動を中心とした実践を行ってきた。観測、解析の他にも、自分がやってきたことを分かりやすく人に伝える発表活動の重要性も強調し、秋に行われる学園祭(日吉祭という)でポスター発表を行ったり、最終授業

でパワーポイントを用いたプレゼンテーションを行ったりした。そして最終的に論文としてまとめた。

これらの活動について、最終授業時にアンケート調査を行った。それぞれの活動について達成感が「とてもあった」5～「ふつう」3～「まったくなかった」1の5段階で答えてもらった。

その結果、達成感が「とてもあった」「あった」と答えた割合は、4つのカテゴリとも約7割となった。特に、「観測と研究活動」については、「とてもあった」と強い達成感を得た割合は6割を超えた。いずれの活動も時間も手間もかかるものだが、自らの手で結果を導く主体的な活動が多くの生徒に達成感をもたらしたことが見て取れる。

## 7 おわりに

天文で体験的もしくはリアルタイムな天体を用いた授業展開は難しい。しかし、インターネット天文台や星座カメラ i-Can を活用することで、比較的容易に天体を使った授業を可能にする。また、インターネット天文台や学校天文台を用いた生徒の研究活動は、実際の観測体験・研究体験を通じて生徒の興味を喚起し、達成感が高まると考える。

### 参考文献

1) 佐藤毅彦, 坪田幸政, 松本直記, 「インターネット天文台の構築～その 1. 安く, 早く, 簡単に」, 天文月報 第 92 巻 6 号, pp.312-317, 1999

2) 佐藤毅彦, 坪田幸政, 松本直記, 「インターネット天文台の構築～その 2. 良い物は作らない」, 天文月報 第 93 巻 6 号, pp.313-318, 2000  
3) 佐藤毅彦, 坪田幸政, 松本直記, 「インターネットを經由した望遠鏡遠隔操作による、ライブ天体画像の取得とその教育現場での活用」, 財団法人電気通信普及財団研究調査報告書 No.15, pp.185-196, 2001  
4) 佐藤毅彦, et al., 「地球の裏側から夜空を教室へ!」, 天文月報 第 96 巻 11 号, pp.565-571, 2003  
5) 松本直記, 「こんな授業やってます(2)舞台で生徒は大きくなる」, 天文教育 第 16 巻 6 号, pp.43-49, 2004  
6) 佐藤毅彦, et al., 「地球の裏側から夜空を教室へ!」, 天文月報 第 96 巻 11 号, pp.565-571, 2003  
7) スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書, 慶應義塾高等学校, 第 1 年次～第 3 年次・継続 1 年次・継続 2 年次, 2004～2008  
8) 佐藤毅彦, et al., 「ガーナ・インターネット天文台の構築と星座カメラ i-CAN プロジェクト」, 熊本大学教育学部紀要. 自然科学 54, pp.103-111, 2005  
9) 松本直記, 「観測体験と天文学を繋げる授業展開」, 理科の教育 7 月号, pp.39-41, 2009  
10) 松本直記, 「高校生によるトランジット観測(慶應高校編)」, 天文月報 第 105 巻 2 号, pp.82-86, 2012

(2020 年 3 月 23 日受付、2020 年 4 月 30 日受理)